

光励起型レーザー発振装置の高性能化に関する研究

著者	松沢 秀典
号	494
発行年	1980
URL	http://hdl.handle.net/10097/11443

氏 名	まつ 松 ざわ 沢 ひで 秀 のり 典
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 55 年 7 月 2 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 39 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	光励起型レーザー発振装置の高性能化に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 稲場 文男 東北大学教授 高橋 正 東北大学教授 小野 昭一 東北大学教授 柴田 幸男

論 文 内 容 要 旨

第一章 総 論

レーザー研究とその応用の内容は大きく発展しつつあり、また益々多様化の様相を呈している。そのためレーザーは単なる理化学機器としてではなく「レーザー工学又は技術」としての厳しい評価を受けるようになった。評価の基準としては能率、安定度、出力、感度などの他に小型、軽量、安価であることも要求されつつある。

レーザー発振器の効率はレーザーの種類によって大きく異なっているが、その効率を理想的な上限に近づけるためには励起効率を向上させることが特に重要である。数種類の励起法の中でも光励起法は殆どすべての種類のレーザーにおいて使用されているが、光励起法が主役を占めるのは固体レーザーと色素レーザーである。励起光をレーザー素子へ集光する際の集光効率は、装置全体の効率に直接に影響を及ぼす重要な要因である。

この様な観点から、本論文ではまず励起光集光系の最適設計法を定量的に明らかにする。また、レーザー装置はその構成部品として誘電体多層膜干渉フィルターを種々使用しており、その質的改善もレーザー装置の高性能化に欠かせないものである。そこで、本論文では次いで水晶振動子式蒸着膜厚計の監視精度を向上させると共に、その膜厚計を用いて試作した誘電体多層膜干渉フィルターを色素レーザーと組合せることによって、色素レーザーの新しい2種類の発振波長同調法を実験的に検討して、光励起型レーザー装置の高性能化の具体的研究を試みる。

第2章 光励起型レーザー発振装置の基礎的構成と動作特性

本章では光励起型レーザーに共通する基本的構成を概説し、その動作特性について述べると共に、次章以下の研究の主眼点を明らかにした。まず光励起型レーザーの励起から発振に至るエネルギー変換過程を概観して、この過程を通じての性能改善の可能性を検討した。その結果、電気入力→励起光エネルギー→レーザー素子吸収エネルギーの段階で、改善、検討の余地があることが明らかになった。その中でも主要な役割を果たす各種の励起光集光系について、本論文の次章以下の研究の基礎付けとしてその各々の特徴を比較・検討した。また、レーザー装置の高性能化に不可欠な誘電体多層膜フィルターの重要性和設計・製作上の種々の問題点について考察し、第5章および第6章におけるその設計、製作およびレーザー装置への具体的応用のための研究の必要性を提示した。

第3章 光励起型レーザー用集光系の最適設計法

励起光源として直線状フラッシュランプを使用する場合の集光系について考察を行った。本論文の「最適設計」の意味は直線状ランプからレーザー素子への励起光の集光効率が最大になることである。

本章では、まず、光励起型レーザーの集光用楕円筒鏡の最適設計が、鏡面の反射率に依存することを初めて明らかにし、設計の基本となる図面を示した。これらの図面は、ランプ、ルビーの寸法と両者の間隙、また鏡面の反射率およびその寸法を含むもので、これらの図を参照することによって、これから新たに楕円筒鏡を設計、使用する研究・設計者は、容易に最適寸法を決定できる。

次いで円筒鏡の集光効率を求め、楕円筒鏡の近似として用い得る範囲を明らかにした。楕円筒鏡および円筒鏡の製作時の手数に大差はないので、楕円筒鏡を使うことが勧められる。

本章ではさらに、回転楕円、球形集光系の集光効率を求めて図面によって表示したので、この図より設計指針を容易に得ることが出来るようになった。即ち、離心率の小さい回転楕円鏡を使用することが適当であるが、球形集光鏡も回転楕円鏡に対して数%劣っているにすぎない。製作の容易さからいえば、球形集光鏡が勧められる。

なお、ランプはランプへの注入エネルギーと寿命とが実用上差支えない限り成るべく発光部分の径の細いものが良いことが明らかにされた。

第4章 光励起型レーザー用集光系の試作および特性測定

試作した集光系は楕円筒形集光鏡、円筒形集光鏡、および球形集光鏡であり、各々を用いた場合のルビー・レーザー発振に要する最低入力エネルギー値を求めて、それらの値と前章の計算結果との比較を行い、良い一致を得た。さらに、ルビー・ロッドの端面におけるレーザー発振パターン（Near Field Pattern）を観察した。なお、試作した集光鏡の反射率は約70%であった。

円筒形集光鏡の集光効率の最大値は楕円筒形集光鏡の値の約75%であり、また円筒形集光鏡の

発振パターンには強い非対称の方向性が現れた。さらに、円筒形および楕円筒形集光鏡はそれらの製作工程に関して大差がない。したがって円筒形集光鏡と楕円筒形集光鏡の中では、楕円筒形集光鏡を強く勧めることになる。

回転楕円形集光鏡の離心率 $e = 0$ の場合として球形集光鏡を試作したが、楕円筒形集光鏡と比較すると、球形集光鏡の集光効率も楕円筒形集光鏡の値の約20%増であり、前章の計算値とは良く対応していた。また、球形集光鏡のレーザー発振パターンは軸対称性の非常に良い円形であったが、楕円筒形集光鏡の場合には楕円鏡の短径方向に伸びる発振パターンが認められた。球形集光鏡は楕円筒形のものに比して、製作に際してかなり多くの工程数を要する。これらのことから集光効率および発振パターンの良さを重視する場合には球形集光鏡を採ることとなり、レーザー・ロッドの光共振器の形成および集光鏡の製作の容易さを重視する場合には楕円筒形集光鏡を採ることとなる。

本章の実験結果によって、前章で論じた設計基本図の有効性が確認されると共に、集光鏡の設計者にとってまず必要となる集光鏡の形状の選択基準も明らかにされた。

第5章 水晶振動子式蒸着膜厚計によるレーザー用誘電体多層膜フィルターの設計および試作

レーザー用誘電体多層膜フィルターを製作する際の膜厚の監視精度の向上という観点から、水晶振動子膜厚計を採り上げてその改良を試みた。水晶膜厚計の監視精度の向上は従来水晶振動子の温度変化によって防げられていた。そこで、本論文では水晶振動子と冷却素子との間の熱伝導を積極的に行うために、振動子の周辺を冷却素子へ銀ペーストによって粘着する図1のような新しい方式を考案した。その結果、ZnSやMgF₂などの誘電体物質の蒸着膜の精度は、 $\pm 10 \text{ \AA}$ 以内になることが示された。

次に、水晶膜厚計を用いて、中心波長 600 nm の D. H. W. フィルター（19層、ZnSとMgF₂の組合せ）を1%前後の膜厚誤差で試作して、ほぼ設計通りの双峰特性を示すものを作製した（図2）。水晶膜厚計を用いてフィルターを試作する場合に、唯一回の試みで設計した目的のフィルターを得ることはむずかしいが、順次補正を施すことによって所要の特性のフィルターを得ることが可能であることが実証された。用いた水晶膜厚計は、本章における改良の結果、光電測光法と同等もしくはそれ以上の監視精度を有するものであることが明らかになった。

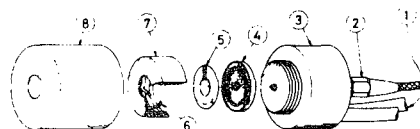


図1. 新しい振動子保持法を用いた水晶振動子蒸着膜厚計の分解図

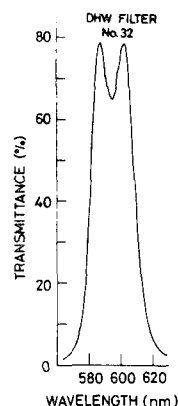


図2. 試作したD. H. W. フィルターの分光透過特性

第6章 誘電体多層膜フィルターを応用した色素レーザー装置

本章では、前章で述べた自作の誘電体干渉フィルターを色素レーザー（ローダミン6G）と組合せて、新しい2種類の波長同調の実験を試みた。いずれも誘電体多層膜フィルターのレーザーへの応用範囲の拡大を図ったものである。

まず図2のD. H. W. フィルターを図3の如く色素レーザーの共振器中に組み込み、新しい2波長同時発振法を行った。本方式による発振スペクトルの半値幅は約1～2 nmと広いが、発振2波長ビームの進路を同一にしようと共に、本方式は構成が簡単であるので固定された2波長光を必要とする使用法に適している。また、発振2波長の間隔が、約10 nm以上離れても差しつかえない場合には、フィルターの製作も困難でないで、本方式は実用的に使い易いものといえる。

次いで頂角45°のプリズムの一面に誘電体干渉フィルターを押しつけて一体にしたもの、ならびにフィルターを直接に蒸着した素子をレーザー共振器中へ図4の如く挿入し、発振波長の同調を試みた。その結果発振波長の入射角依存性はプリズム単体又は干渉フィルター単体の場合の中間の特性を示した。その波長特性は干渉フィルターとプリズムそれぞれの利得曲線の積の関数の変化を考慮することによってよく説明できた。同調可能な波長範囲は、誘電体フィルターのみの場合（～20 nm）よりも狭く、10 nm弱であった。またレーザー光の発振スペクトル幅は、誘電体フィルターのみを用いた場合の値とほぼ同一の～2 nmを得た。これらの結果は、本論文のモデルから十分に解釈出来るものであることが示された。

第7章 結 論

本論文で得られた主な成果は次の通りである。

1) 励起光集光鏡として使われる楕円筒形、円筒形、球形及び回転楕円形集光系の最適設計法を明らかにした。本研究では、鏡面の反射率を初めて設計法の中にとり入れると共に、設計の際に有用な設計基本図を作成した。これらの結果の妥当性は、実際に集光鏡を試作することによって裏づけられた。

2) 水晶振動子蒸着膜厚計の水晶振動子保持法として新しい方式を考案することによって、膜

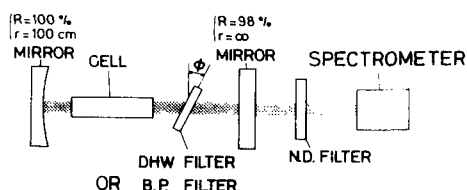


図3. D. H. W. フィルターを用いた色素レーザーの2波長同時発振法の構成図

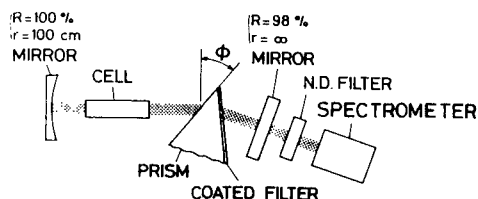


図4. 狭帯域透過誘電体干渉フィルターの蒸着されたプリズムを用いた色素レーザーの発振波長同調法の構成図

厚計の監視精度を光電測光法と同等以上に高めることができた。この精度は、D. H. W. フィルターの試作によって実証された。

3) 新しい2波長同時発振法として、D. H. W. フィルターを色素レーザー（ローダミン6G）の共振器中へ挿入する方法を提案すると共に、その特性を実験的に検討した。本方式は構成が簡単であり、2波長光が同一の進路をとり得るという特長を有している。

4) 狭帯域透過干渉フィルターをプリズムに蒸着したもの、あるいは干渉フィルターをスペーサーを介してプリズムに接合したものを色素レーザーの共振器中へ挿入し、新しい波長同調法を試みた。本方法による発振波長のプリズム傾角依存性は、プリズム、フィルターそれぞれ単体の場合の中間の特性を示し、本論文のモデルによって十分解釈できた。

レーザーの使用分野は今後ますます増大する傾向にあるが、レーザー装置を実用化する際に、その効率が強く問われつつある。また、一方では新しい光エレクトロニクス用機能素子はその設計、製作の段階において従来よりも高精度の制御技術が要求されてきている。本論文の研究はこのような目標にアプローチすることを試みたものである。レーザー装置とその周辺技術からなるレーザー工学の今後の一層の進展と応用分野の広範囲な拡大が期待される。

審 査 結 果 の 要 旨

光励起型レーザーは最初のルビーレーザーを端緒として、数多くの固体や液体材料について現在広く実用に供されており、その応用分野は各種の理工学や医、歯学などの広汎な領域に及んでいる。しかし、その発振効率にはレーザー装置の構成によって種々異っており、効率改善に基づく高性能化のためには、なお幾つかの工学的に解決すべき問題が残されている。

著者はこのような観点から、光励起型レーザーの全般的な効率改善には、レーザー材料への励起光の集光光学系の集光効率が極めて重要な役割を果たすことを明らかにし、その最適設計法を開発すると共に、光共振器や光フィルタの高性能化のために誘電体多層膜の蒸着時における膜厚の精密な監視、制御法を研究して来た。本論文はその研究成果をとりまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は総論である。第2章では、光励起型レーザーの主要な動作機構と特性を総合的に検討し、光発振装置としての高性能化のための問題点を明らかにしている。

第3章では、光励起型レーザーの発振効率の改善のために本質的な役割を担う励起光集光光学系を定量的に解析して、4種類の光学系の最適設計法を提示し、その製作の際に直ちに役立つ数多くの設計図表を作成している。これらは重要な成果である。

第4章では、第3章の最適設計法に基づいて試作した励起光集光光学系の諸特性について詳細な測定を行い、その設計法の妥当性を実験的に実証している。これらは実用上有用な知見である。

第5章では、レーザー用光共振器や各種光学素子の製作にとって欠くことの出来ない誘電体多層膜蒸着において、膜厚精度を向上するための高精度の膜厚監視、制御法を考案し、その有効性を明示するために、極めて高い膜厚監視精度が要求される2波長透過フィルタを製作して、その優れた特性を明らかにしている。

第6章は、第3章から第5章までの研究成果を総合的に生かして行った、光励起型色素レーザーの新しい高性能な発振波長制御および波長同調法についての実験的研究の結果をとりまとめたものである。これらの成果は高く評価される。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は光励起型レーザー発振装置の高性能化に欠くことの出来ない製作技術上の問題を解明し、それらの最適設計法や制御法を明らかにして豊富な資料を提供すると共に、それらの有効性を実験的に実証して、いくつかの重要な知見を加えたものであって、電子工学並びにレーザー工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。